MODIS영상의 고해상도화 수법을 이용한 오창평야 NDVI의 평가*

박종화 · 나상일

충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

Assessment of the Ochang Plain NDVI using Improved Resolution Method from MODIS Images*

Park, Jong-Hwa and La, Sang-Il

Department of Rural Engineering, Chungbuk Nat'l University.

ABSTRACT

Remote sensing cannot provide a direct measurement of vegetation index (VI) but it can provide a reasonably good estimate of vegetation index, defined as the ratio of satellite bands. The monitoring of vegetation in nearby urban regions is made difficult by the low spatial resolution and temporal resolution image captures. In this study, enhancing spatial resolution method is adapted as to improve a low spatial resolution. Recent studies have successfully estimated normalized difference vegetation index (NDVI) using improved resolution method such as from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) onboard EOS Terra satellite. Image enhancing spatial resolution is an important tool in remote sensing, as many Earth observation satellites provide both high-resolution and low-resolution multi-spectral images. Examples of enhancement of a MODIS multi-spectral image and a MODIS NDVI image of Cheongju using a Landsat TM high-resolution multi-spectral image are presented. The results are compared with that of the IHS technique is presented for enhancing spatial resolution of multi-spectral bands using a higher resolution data set. To provide a continuous monitoring capability for NDVI, in situ measurements of NDVI from paddy field was carried out in 2004 for comparison with remotely sensed MODIS data. We compare and discuss NDVI estimates from MODIS sensors and in-situ spectroradiometer data over Ochang plain region. These results indicate that the MODIS NDVI is underestimated by approximately 50%.

Key Words: Vegetation Index. MODIS, Spectroradiometer, Imge fusion, Enhancing spatial resolution.

Corresponding author: Park, Jong-Hwa, Department of Rural Engineering, Chungbuk Nat'l University,

Tel: +82-43-261-2577, E-mail: jhpak7@chungbuk.ac.kr

Received: 27 July, 2006. Accepted: 1 December, 2006.

^{*}이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

Ⅰ.서 론

인구의 증가와 소득수준의 향상에 따른 도심의 확대와 택지개발, 냉난방기구의 사용 확대는 도심의 열 환경을 악화시키는 요인으로 작용하고 있다. 도심의 열 환경개선과 식생이 도심의 열 환경에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 식생의 변화에 대한 주기적인 모니터링과 식생변화특성 파악이 선행되어야 할 것이다(Bannari et al., 1995). 또한 식물의 종류를 구분하거나 식물의 생체량이나 엽록소 함량 등 생・물리적 특성 정보추출에 RS 자료획득 시기는 매우 중요한 역할을 한다. RS 자료획득의 최적시기 선정을 위해서는 식물의 시기별 생육주기에 대한 정보가 필요하다(Jensen, 2000).

식생지수중 하나인 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index : 정규화 식생지수)는 식생의 활성도를 나타내는 지표로, RS에서 가장 널리 사 용되는 지표중 하나이다(Rouse, 1974). NDVI의 계절적 변동은 작물의 증발산량 등과 밀접한 관 련을 가지며 작물의 생육상황 파악과 성장단계별 물소비량을 파악할 수 있는 지표로 사용되고 있 다. NDVI의 원리는 단순하고, 식생의 반사율은 가시영역에서 낮고 근적외선 영역에서 높은 성질 을 이용하고 있다(Tucker, 1979). NDVI의 특징은 다수의 위성탑재광학센서에서 이용이 가능하고, 지수 계산이 매우 쉬우며, 비연산치를 사용하여 대기보정효과를 기대할 수 있는 점에서 많이 이 용되고 있다. 특히, Landsat, AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer : 개량형 초고해 상도 복사계), MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectrometer)영상은 높은 시간해상도 데이터를 이용한 시계열처리에 널리 이용되고 있다(Tucker, 1978; Justice, 1998).

지금까지 광역적인 식생의 모니터링에는 NOAA에 탑재된 AVHRR영상이 널리 사용되어 왔다. 한편 Landsat 등은 관측주기가 16일로 길고 영상 구입비가 비싼 단점이 있다. 최근에는 MODIS영

상이 무료로 보급되면서 그 활용기술이 다양한 분야에서 연구되고 관련 연구결과가 제시되고 있다(GSFC/NASA, 2000).

Terra위성과 Aqua위성은 대기, 해양, 육지를 광범위하게 관측할 수 있는 만능센서 MODIS를 탑재하고 있다. 이는 NOAA위성의 전통을 이어 MODIS데이터는 직접 송신이 가능하며 수신국만 준비되면 자유롭게 수신할 수 있어 광역적인 정 보취득에 활용성이 기대되고 있다(Huete, 2002). 따라서 논이나 활엽수와 같이 계절변화를 고려한 분류가 필요한 경우 MODIS와 같이 1년을 통해 다수의 영상을 취득할 수 있는 데이터의 이용이 필요하다(Cracknell, 1997). 한편, 데이터를 얻을 수 있는 주기는 확보되었으나 공간해상도면에서 250m부터 1000m로 열악한 MODIS는 지역의 국 지적인 정확한 정보 획득에는 한계를 보이고 있 다. 한편 고해상도영상은 고가일 뿐 아니라 취득 주기가 길어 필요시기의 데이터 취득이 곤란한 단점이 있다. 따라서 저공간해상도의 MODIS영 상을 높은 공간해상도의 Landsat이나 Aster 등의 고해상도 영상화 할 수 있는 처리 방법이 개발된 다면 지표의 자세한 수준의 정보도 판별이 가능 할 것이며, 그 활용성은 매우 높아질 것이다. 지 금까지 주로 AVHRR영상을 이용하여 광역적인 NDVI분포를 발표한 연구는 많으나 국지적인 NDVI분포를 주기적으로 조사한 연구와 고해상 도 처리한 기법 연구는 거의 실시되지 않고 있다 (Leprieur, 2000).

IHS화상처리기법은 지금까지 TV영상 등에 적용되어 비약적으로 발전해 온 디지털기술을 응용한 방법이다(Pohl, 1998; Shettigara, 1992). 저공간해상도의 MODIS영상에 IHS화상처리 기법을 적용하여 Landsat의 고해상도영상으로 처리하는 방법을 개발하였다. 이는 각 지역 자원의 국지적인 식생변화의 주기적인 변화를 파악하는 데 매우 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 저공간해상도를 갖는 MODIS 영상에 대해 Landsat영상과 고공간해상도기법을 사용하여 고공간해상도화 영상으로 변환한 후 오 창평야 주변 NDVI의 순별 변동특성을 구하고, 현지조사 NDVI와 비교 분석한 결과를 제시하고 그 효용성을 검토하였다.

Ⅱ. 현장실험 및 화상해석 방법

1. 조사지역과 현장실험 방법

조사지역은 청주시와 청원군을 포함한 34.5×28.5km이다. 조사지역의 논토양은 사양토(Sandy loam)이며, 벼 품종은 새계화 벼이다. 모는 2004년 5월 20일에 30×15cm의 평균재식거리로 이앙하여 2004년 10월 4일에 수확하였다.

실험은 Figure 1과 같이 충북 청원군 오창면 농업기술원에 위치한 실험포장(동경 127°28 '9 ', 북위 36°43 '28 ')에서 Spectro-radiometer(분광복 사계, LI-1800, LI-Cor.사, 측정파장범위: 300~1,100nm, 측정간격: 5nm)에 Telescope/Microscope을 연결하여 벼의 분광반사에너지를 측정하였다(박종화, 2005). 조사 시기는 운량이 20% 이하인 맑은 날을 선정하여, 측정은 10시에서 14시 사이에 실시하였다.

분광반사특성에 관한 현지조사는 벼의 생육단 계로 크게 구분되는 이앙기, 분얼기, 유수형성기, 수잉기, 출수기, 성숙기에 해당하는 11회의 데이 터를 취득하였다.

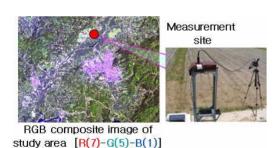


Figure 1. Measurement site and apparatus for spectral reflectance in field.

2. 벼의 분광반사특성 해석

분광반사곡선은 각각의 물체가 반응하는 파장

에서 특징적인 기울기를 나타낸다. 이 기울기의 변화특징을 파악하면 그 물체가 갖는 정보파악이 가능하다(Waltershea and Biehl, 1990).

분광반사곡선의 도함수를 이용한 1차도함수법 은 스펙트럼 기울기로부터 작물의 성장단계에 가 장 영향을 미치는 파장을 찾아내는데 유용한 방 법이다. 파장 λ_i 의 분광반사율 1차도함수(1/nm) 는 식 (1)과 같다.

$$\frac{dR_{\lambda_{i}}}{d\lambda_{i}} = \frac{R_{\lambda_{i+1}} - R_{\lambda_{i}}}{\lambda_{i+1} - \lambda_{i}} \tag{1}$$

여기서, i는 반사율 측정점이며, λ_i 는 각 측정 시점의 파장(nm), R_{λ_i} 는 파장 λ_i 의 분광반사율(%) 이다.

2차도함수법은 식 (1)의 1차도함수 기울기변화를 구하는 식으로 파장 λ 의 분광반사율의 2차 도함수는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{d^2R_{\lambda_i}}{d\lambda_i^2} = \frac{dR_{\lambda_{i+1}} - dR_{\lambda_i}}{d\lambda_{i+1} - d\lambda_i}$$
 (2)

3. 분광반사조사에 의한 식생지수

현지 조사한 벼의 분광반사율을 이용하여 현 장식생지수 *NDVI* field를 구하면 식 (3)과 같다.

$$NDVI_{field} = \frac{NIR_{850} - R_{650}}{NIR_{850} + R_{650}}$$
 (3)

여기서, $NDVI_{field}$ 는 현장조사에서 얻은 정규화 식생지수이며, R_{650} 은 650nm의 빨강파장, NIR_{850} 은 850nm의 근적외선파장이다.

일반적으로 *NDVI*는 -1 ≤ *NDVI_{field}* ≤ 1의 값을 갖는다(Rouse 등, 1974).

4. 화상해석 방법

위성영상 데이터의 해석범위는 동서방향으로 동경 127°14 É~127°34 '15 'E, 남북방향으로 북위 36°30 '25 'N~36°45 '25 'N의 청주와 청원지역으로, Landsat영상 1,150×950 화소에 해당하는지역이다. 본 연구에 이용한 위성영상자료를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Usage satellite image data.

Landsat Image								
Path/Row	115/35 (36°30 ′25 ″N, 127°14 ′E~ 36°45 ′25 ″N, 127°34 ′15 ″E)							
Sensor	Landsat 5 TM							
Date	2004.08.31							
	MODIS Image data							
Range	36°30 ′25 ′N, 127°14 ′E~ 36°45 ′25 ′N, 127°34 ′15 ′E							
Date	2004. 5. ~ 2004. 10							

Terra MODIS데이터는 2,330km의 주사 폭으로 36밴드로 관측되고 있다(GSFC/ NASA, 2000). 해석에 사용한 MODIS영상은 2004년 5월 1일부터 2004년 10월 31일까지 NASA에서 낮에 수신한 MODIS영상 데이터이다. 여기서 구름의 영향을 최소화하기 위하여 관측된 후보영상 중에서 Band 1(파장 620~670nm)의 값이 최소가 되는 것을 대표치로 선택하여 10일간의 합성영상을 작성하였다. 촬영시기에 따라 합성영상을 작성해도구름과 구름의 그림자, 데이터 수신에 따른 노이즈를 완전하게 제거하지 못한 경우도 있다.

두 밴드의 공간해상도가 250m인 MODIS영상을 이용한 정규화 식생지수(*NDVI_{MODIS}*)는 식 (4)와 같이 보정한 *Band* 1과 2의 데이터를 조합하여 계산하였다.

$$NDVI_{MODIS} = \frac{Band2 - Band1}{Band2 + Band1}$$
(4)

여기서, Band 1은 MODIS의 $620\sim670$ nm의 가시광선 빨강파장 밴드, Band 2는 $841\sim876$ nm의 근적외선 파장 밴드이다. $NDVI_{MODIS}$ 의 범위는 $-1 \leq NDVI_{MODIS} \leq 1$ 의 값을 갖는다.

5. 저공간해상도영상의 고공간해상도화 기법 저공간해상도영상을 고공간해상도영상으로 변

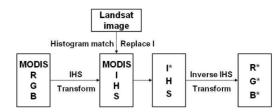


Figure 2. IHS image enhancing spatial resolution process.

환하기 위해 고공간해상도영상(Landsat영상)과 저 공간해상도영상(MODIS영상)을 조합하여 Figure 2와 같은 IHS영상강조기법을 사용하였다. 이를 수식으로 정리하면 다음 식과 같다.

Terra위성으로 얻어진 MODIS영상의 RGB는 식 (5)∼(7)과 같이 IHS계로 변환할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$
(5)

$$H = \tan^{-1} \left(\frac{v_1}{v_2} \right) \tag{6}$$

$$S = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \tag{7}$$

여기서, *R*, *G*, *B*는 각각 MODIS영상의 빨강, 녹색, 파랑 값이며, *I*, *H*, *S*는 각각 영상 색의 강도, 명암, 순도를 나타내고, *u*, *v*는 각각 보간 값이다. 상응하는 역변환식은 다음과 같다.

$$v_1 = S \cos(H)$$

$$v_2 = S \sin(H)$$
(8)

$$\begin{pmatrix} R^* \\ G^* \\ B^* \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{-2}{6} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix}$$
(9)

여기서, R^* , G^* , B^* 는 각각 MODIS영상의 빨강, 녹색, 파랑 영상을 고공간해상도화한 결과 얻어진 빨강, 녹색, 파랑 영상 값이다.

MODIS가 갖는 저공간해상도영상을 Landsat 의 고공간해상도영상의 해상도로 만들기 위한 *I, H. S*의 변환식은 다음과 같다.

$$I = \frac{1}{3}I^*$$

$$I^* = R + G + B$$
(10)

여기서, *는 변화 값을 의미한다.

R이 최소일 때.

$$H = \frac{B-R}{I^*-3R} + 1, S = \frac{I^*-3R}{I^*}$$
 (11)

G가 최소일 때.

$$H = \frac{R - G}{I^* - 3G} + 2, \quad S = \frac{I^* - 3G}{I^*}$$
 (12)

B가 최소일 때.

$$H = \frac{G - 3B}{I^* - 3B}, S = \frac{I^* - 3B}{I^*}$$
 (13)

상응하는 R, G, B변환식은 다음과 같다.

R이 최소일 때,

$$R^* = \frac{1}{3} I^* (1 - S)$$

$$G^* = \frac{1}{3} I^* (1 + 5S - 3SH)$$

$$B^* = \frac{1}{3} I^* (1 - 4S + 3SH)$$
(14)

G가 최소일 때,

$$R^* = \frac{1}{3} I^* (1 - 7S + 3SH)$$

$$G^* = \frac{1}{3} I^* (1 - S)$$

$$B^* = \frac{1}{3} I^* (1 + 8S - 3SH)$$
(15)

B가 최소일 때.

$$R^* = \frac{1}{3} I^* (1 + 2S - 3SH)$$

$$G^* = \frac{1}{3} I^* (1 - S + 3SH)$$

$$B^* = \frac{1}{3} I^* (1 - S)$$
(16)

으로 구해진다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 벼의 분광반사특성 해석

식생지수는 계절별로 크게 변동하며 공간적으로 물체에 따라 다양한 값으로 분포한다. 식생지수의 변동이 두드러진 식물로는 벼와 활엽수 등이 있으며 계절적 변화를 가장 잘 알 수 있는 작물중 하나는 벼이다.

분광반사곡선은 벼 성장에 따른 물 스트레스나 식물의 생산량 및 증발산량, 그 지역의 식생정보 등을 정량적으로 파악하기 위해 유용한 정보를 포함하고 있다. 따라서 분광반사곡선 기울기의 변 화특성을 알면 그 작물이 갖고 있는 식생정보를 파악할 수 있다.

변의 식생지수에 대한 현지조사는 성장 초기단계에서 수확단계까지의 식생정보 변화과정을 보기 위하여 2004년 5월부터 10월까지 성장단계별로 11회 실시하였다. 분광반사측정 실험결과 얻어진 빨강과장과 근적외선과장 값이 현장식생지수를 구하는 값으로 사용된다. 분광반사율과 분광반사율을 1차와 2차 도함수법으로 구하여 나타내면 Figure 3과 같다.

변의 성장단계별 분광반사율의 1, 2차 도함수변화가 가장 큰 파장은 730nm이며, 다음이 530nm로 나타난다. 여기서 730nm파장은 가시광선과근적외선 파장의 경계인 Red edge구간으로, 입내의 세포벽과 세포간 공기에서 발생하는 내부 산란작용의 영향을 크게 받는다. 한편 920~980nm파장 범위에서 미세한 수분흡수 밴드가 존재한다. 따라서 근적외선파장에서 식물상태를 최적으로 감지할 수 있는 파장구간은 740~900nm가 된다(Turker, 1978). 분광반사특성이 가장 두드러진시기는 7월 21일이었으며, 모내기 직후인 6월 5일은 토양과 물의 반사특성을 함께 반영한 것으로 다른 식생조건과 큰 차이를 보였다.

2. 현장분광반사측정에 의한 식생지수

다양한 지표면 식물들의 활용과 정확한 식생

정보 파악을 위해서는 계절별 식생지수변화를 아는 것이 중요하다. 또한 위성영상 고해상도기법의 정확도 확인을 위한 자료로도 매우 중요하다.

식 (3)을 이용하여 구한 $NDVI_{field}$ 를 나타내면 Figure 4와 같다. 그림과 같이 벼의 식생지수는 모내기부터 성숙기까지 $0 < NDVI_{field} \le 1$ 의 범위에 분포한다. $NDVI_{field} = 5$ 월 22일 전후의 이앙기에 0.4로 가장 낮고, 분얼기와 유수형성기를 지나 수잉기(7월 21일) 전후에 0.93으로 가장 높으며, 출수기 전후는 0.7전후로 일정하며, 이후 성숙기에는 0.6전후로 낮아지는 특징을 보인다.

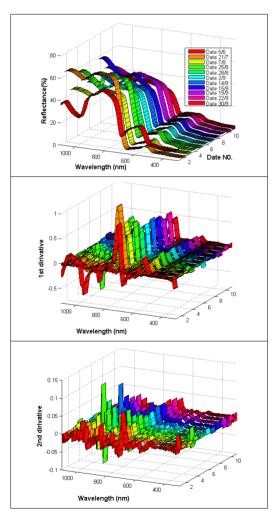


Figure 3. Spectral reflectance, first derivative and second derivative for paddy fields.

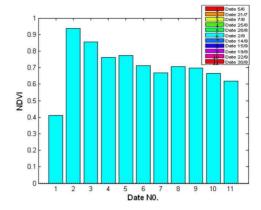


Figure 4. Variation of NDVI with the paddy rice growth stage.

3. 저공간해상도영상의 고공간해상도화 기법

식생지수의 계절적 변동특성 파악에는 위성영 상 데이터 취득주기가 길고 구름 등 기상조건의 영향을 크게 받아 양질의 영상취득이 어렵다는 점 이다. 특히 5~8월은 대기의 불안정과 구름의 영 향으로 양질의 영상을 얻을 수 있는 기회가 많지 않다. 따라서 위성영상을 이용한 식생지수의 변동 특성을 정확하게 파악하고 예측하는 것은 매우 어 렵다. 특히, Landsat 등의 고공간해상도 영상의 촬 영빈도는 1달에 약 2회이나 구름이 없는 양질의 영상을 얻을 수 있는 가능성은 매우 낮다. 이에 반 해 MODIS영상은 매일 촬영되므로 계절변화에 따른 영상취득이 용이하나 공간해상도가 밴드에 따라 250m, 500m, 1.1km 등으로 낮은 단점을 가지 고 있다. 이와 같이 공간해상도는 떨어지나 촬영 빈도가 높은 MODIS영상과 공간해상도는 높으나 촬영빈도가 낮은 Landsat영상을 조합하여 Landsat 영상 수준으로 공간해상도를 높이기 위해 Figure 2와 같은 방법으로 고공간해상도화 MODIS 식생 지수($NDVI_{MODIS}$)의 변화특성을 조사하였다.

고공간해상도영상은 2004년 8월 31일 촬영한 청주주변의 Landsat 5 TM영상을 사용하였다(Figure 5 우). 저해상도영상은 2004년 5월부터 10월까지 촬영한 MODIS영상에 대해 전처리작업을 실시한 후 사용하였다(일례, Figure 5 좌). 전처리작업

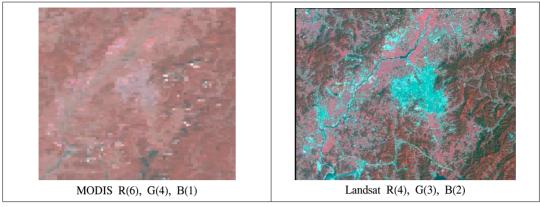


Figure 5. Study area's satellite images relationship between MODIS image such as low resolution image and Landsat TM image such as high resolution image.

은 대기보정과 Landsat영상과 MODIS영상이 일 치할 수 있도록 UTM/WGS-84와 Image to Image 방법으로 기하보정을 실시하였다.

본 연구에서 제안하는 기법에서는 각 순별 지표 면의 휘도정보를 가지나 지표면상태의 공간적인 상세정보를 갖지 못하는 MODIS영상(Figure 5 좌) 과 지표면의 공간적인 상세정보를 갖고 있으나 필 요한 시기의 휘도정보를 갖지 못하는 Landsat영상 (Figure 5 우)을 이용, Figure 2의 과정으로 상호 조합하여 공간적으로 상세하고 필요한 시기의 휘 도정보를 갖는 영상을 생성하였다(Figure 6 우). 이는 Landsat영상과 MODIS영상을 이용하여 식 (5)~(16)의 변환과정으로 고해상도영상이 촬영 되지 않는 시기의 정보를 고해상도영상이라 할 수 있다

대상지역 순별 식생지수의 변화특성은 MODIS 영상에 고공간해상도화 기법을 적용하여 얻어진 영상에 대해 Band 1과 Band 2를 조합하여 식 (4)의 NDVI_{MODIS}식으로 구하였다. 검토기간은 벼의 생육기간인 2004년 5월부터 10월까지의 영상을 사용하였다.

기존의 MODIS영상(예: Figure 5 좌)은 각 지점의 국지적인 NDVI를 파악할 수 없는 해상도이기 때문에 각 지점의 NDVI를 정확하게 알 수 없다. 그러나 Figure 2와 같은 IHS영상강조기법을 사용하였을 경우 MODIS영상(예: Figure 6 우)을 이용하여 상세한 정보를 얻을 수 없었던 농경지 등의 식생정보 추출이 가능해진다.

Figure 7은 IHS영상강조기법을 적용하여 고해



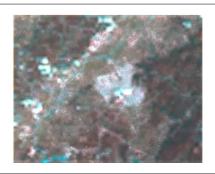


Figure 6. Comparison of MODIS images relationship between low resolution image and improved resolution image.

박종화 · 나상일

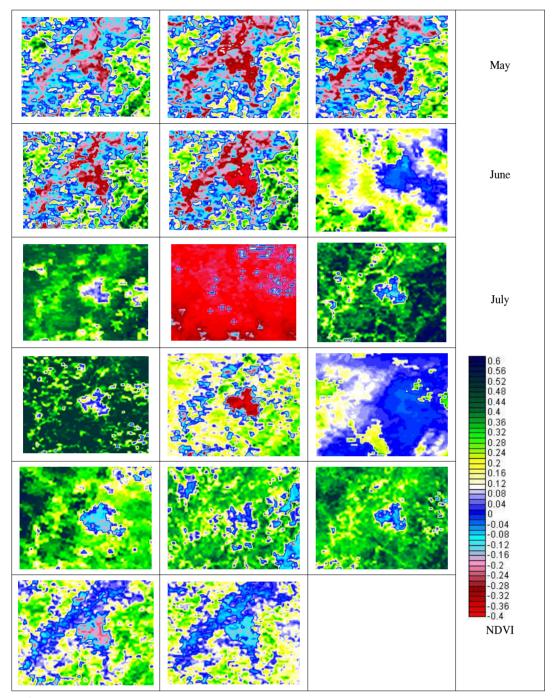


Figure 7. Ten days MODIS images from May to October of Cheongju regions during a growing season.

상도 보간영상으로 얻어진 5월 초순부터 10월 중 것이다. 오창평야 주변의 NDVI_{MODIS}는 순별로 약 초순부터 10월 중순의 경우는 구름 등 노이즈가

간 차이는 있으나 -0.4~0.7범위로 나타났다. 5월 순까지의 순별 $NDVI_{MODIS}$ 의 변동특성을 나타낸 초순부터 6월 중순, 7월 하순부터 8월 중순, 9월 비교적 적어 각 지역이 갖는 식생지수를 잘 나타 내 주고 있다. 이에 반해 6월 하순부터 7월 중순 까지의 식생지수와 8월 중・하순과 9월 중순의 식생지수는 매우 낮다. 이는 Table 2에 제시한 이 주변지역의 기상조건을 잘 반영한 결과로 해석된 다. 이 시기의 강우량은 평균 강우량의 2~ 3.5배 로 매우 높고, 일조시간은 평균 일조시간의 22% 밖에 되지 않는 경우도 있어 매우 짧으며, 운량도 평균보다 매우 높아 흐린 날씨가 많았던 원인 때 문으로 해석된다. 따라서 NDVI_{MODIS}는 흐른 날씨 가 계속되거나 위성 통과시점에 출현하는 구름과 대기 불안정에 기인한 구름 영향으로 실제 식생 지수보다 낮게 나타나는 특징이 확인되었다. 이 와 같이 구름이 많은 장마철과 대기가 불안정한 시기를 제외하면 계절변화에 따른 NDVI_{MODIS}의 변동특성과 변화파악이 가능할 것이다.

먼저, 고해상도의 Landsat영상을 이용하여 6개의 그룹으로 분류한 다음, 이 결과를 순별 MODIS 영상에 적용하여 토지이용형태별 *NDVI_{MODIS}*의 변동특성을 나타내면 Figure 8과 같다. 계절별 *NDVI_{MODIS}*의 변화추이에서 5월과 6월에는 산림지역(0.1~0.2)이 가장 높고, 시가지(-0.3~-0.2)와 논지역(-0.4~-0.2)은 매우 낮다. 이때의 산림

은 나뭇잎이 나오는 시기로 NDVI가 점점 높아져가는 것을 반영한 결과로 해석된다. 논 지역의 NDVIMODIS는 5월과 6월에 물대기와 모내기로 인해 벼보다 물의 영향이 크게 반영되어 매우 낮으나, 7월 초순(0.49)부터 높아지기 시작하여 7월 하순부터 8월 중순사이에 최고점에 달한 후 낮아진다. 9월부터는 산림부터 NDVI가 낮아지기 시작하여 10월 초순은 0.2전후로 급격하게 낮아진다. 또한 10월부터 논 지역은 수확으로, 산림은 나뭇가지와 낙엽에 의해 NDVIMODIS가 낮아진다. 한편 도심은 NDVIMODIS가 거의 0의 값을 갖는다. 이는 현장 식생지수보다 낮으나 변화추이는 거의 같은 것으로 나타났다.

변의 경우 5~10월까지 조사한 순별 *NDVI_{MODIS}* 는 8월 초순이 0.62로 가장 높고, 다음이 7월 하순으로 0.52, 7월 초순이 0.49로 나타났다. 10월 초순 이후는 거의 모든 변의 추수가 완료되어 토양과 볏짚에 의한 식생분포 특징을 보여 거의 0에 가까운 값을 갖는다.

MODIS영상은 광역적인 정보파악에 장점을 갖고 있으나 국지적인 지역정보 파악에는 한계를 갖고 있다. 그러나 본 연구에서 제시한 고해상도 보간영상을 사용한다면 국지적인 식생정보 파악

Table 2. Monthly variations in Rainfall, Average temperature, and sunlight(2004).

Month	1-10, May	11-20, May	21-31, May	1-10, June	11-20, June	21-30, June	1-10, July	11-20, July	21-31, July		
Ave.Temp.(C°)	16.6	17.8	19.9	22.7	22.7	23.9	24.2	25.4	28.1		
Rainfall(mm)	66.7	24	31.1	7.5	244.5	169.5	80.5	235.5	2.9		
Sunlight(hr)	55.1	51.8	83.1	73.6	64.6	24.5	24.2	12.8	84.5		
Cloud ratio(1/10)	6.27	6.77	5.35	4.71	6.14	8.59	8.88	8.96	4.86		
Month	1-10, Aug.	11-20, Aug.	21-31, Aug.	1-10, Sep.	11-20, Sep.	21-30, Sep.	1-10, Oct.	11-20, Oct.	21-31, Oct.	Sum	Average
Ave.Temp.($C^{\circ \circ}$)	28	25.8	23.8	22.6	21.9	19.8	16.3	15	13.1	387.6	21.53
Rainfall(mm)	76.5	151.6	19.5	21.5	117	0.5	1	1	0	1250.8	69.49
Sunlight(hr)	86.3	42.2	44.8	64.2	37.7	59.5	75.1	71.7	83.6	1039.3	57.74
Cloud ratio(1/10)	4.44	6.89	6.97	5.8	7.6	5.04	4	3.53	2.45	107.25	5.96

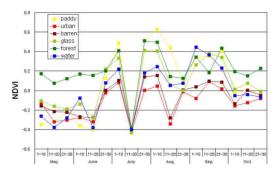


Figure 8. Time series of 2004 NDVI measurements derived from MODIS data for the Cheongju region.

에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

4. 현장 NDVI와 MODIS NDVI의 비교 검토

고해상도화 영상으로 구한 식생지수의 활용성과 정확도를 확인하기 위하여 2004년에 논에서 취득한 NDVI_{field}(Figure 4)와 MODIS영상을 보간하여얻은 NDVI_{MODIS}(Figure 8)를 비교 검토하였다. 벼의 생육조건에 따른 NDVI_{field} 변화와 NDVI_{MODIS}의상호관계를 나타내면 Figure 9와 같다. 날씨가 흐려 측정되지 못한 5월과 6월은 큰 차이를 보이나 7월 하순 이후는 거의 같은 경향을 보인다. 이 구간에서 MODIS영상의 NDVI_{MODIS}는 실측 NDVI_{field}에 비해약 50%정도로 과소평가되는 것으로 나타났다. 따라서 현장조사가 주기적으로 실시된 7월 하순부터의 현장데이터와 MODIS영상으로 얻어진 NDVI와 비교하면 식 (17)과 같은 3차 다항식으로 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

NDVI_{MODIS} =
$$ax^3 + bx^2 + cx + d$$
 (17)
여기서, x 는 현장 측정 벼의 NDVI_{field}이며, a , b , c , d 는 실험에 의해 얻어진 계수이다.

얻어진 결과를 그림으로 나타내면 Figure 10과 같다. 따라서 실측되지 못한 구간의 경우는 이 관계식을 이용하면 그 시기의 개략적인 식생지수의 예측이 가능할 것이다. 이와 같이 논벼의 식생환경에 적용한 고공간해상도영상화 MODIS영상은 국지적인 식생의 현지조건을 잘 표현한 것으로

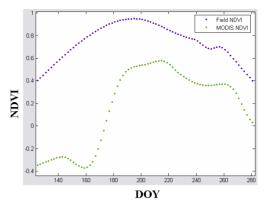


Figure 9. Comparison of NDVI derived from MODIS and in situ measurements data for the Ochang plain.

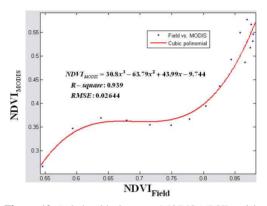


Figure 10. Relationship between MODIS NDVI and in situ measurements NDVI of paddy field.

판단된다.

본 연구에서는 저해상도영상의 활용 활성화와 유용한 활용방법 마련을 위해 먼저 식생조건이 계절별로 거의 일정하게 변하고 일정경향을 파악할 수 있는 식물로 벼를 선정하였다. 이 결과를 활용하여 앞으로는 산림과 같이 다양한 식생이 혼합되어 있는 조건에 적용해 갈 것이다. 지금까지 Landsat 등을 이용할 경우 제대로 된 영상이 1년에 한 개 정도인 점을 감안하면 식생정보를 알기위해 이 기법을 적용한다면 저렴한 비용으로 식생의 계절변화를 알 수 있는 강점이 있다.

본 연구에서 얻어진 결과를 환경복원에 접목하여 기대되는 효과로는 도심주변의 구체적인 시기

별 식생지수 변화를 아는데 어려움이 많았으나 저해상도의 영상을 고해상도화 하여 각 순별 식 생변화를 알 수 있어 도심주변 식생의 변동과 영 향 파악에 활용될 수 있을 것이다. 한편 저비용의 위성영상을 활용하여 복원하고자 하는 식생환경 의 계절적 특성 재현과 재해 및 열 환경 변화 분 석 등 다양하게 응용할 수 있는 방법이 될 것이다.

IV. 결 론

본 논문은 RS기법으로 측정된 *NDVI_{field}*와 고해상도화 기법으로 얻어진 MODIS영상의 순별 *NDVI_{MODIS}*의 변화를 검토하였다. 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1. 벼의 분광반사율, 1차, 2차 도함수의 변화는 730nm파장에서 가장 크고, 다음이 530nm파장으로 타났다. 시기적으로 분광반사특성이 가장 두드러진 때는 7월 21일이었다.
- 2. 벼의 성장단계별 분광반사 조사에 의한 *NDVIfield*는 5월 22일 전후의 이앙기에 0.4로 가장 낮고, 수잉기(7월 21일) 전후에 0.93으로 가장 높은 특징을 갖는다.
- 3. 고공간해상도영상과 저공간해상도영상을 조합하여 저해상도영상을 고공간해상도영상화하기 위한 IHS영상강조기법을 제시하였다.
- 4. 2004년 6월 하순~7월 중순과 같이 흐른 날씨의 경우 실제 식생지수보다 낮게 나타나는 특징이 확인되었다. 이 시기의 강우량은 평균 강우량의 2~3.5배에 달하며, 일조시간은 평균 일조시간의 22%밖에 되지 않는 경우도 있으며, 운량도 평균보다 훨씬 높은 것이 특징이다.
- 5. 오창평야 주변의 NDVI_{MODIS}는 순별로 약간 차이가 있으나 -0.4~0.7범위로 나타났다. 논의 경우 5~10월까지 조사한 순별 NDVI_{MODIS}는 8월 초순(0.62)이 가장 높고, 다음이 7월 하순(0.52), 7월 초순(0.49)으로 나타났다. 이는 현장에서 취 득한 식생지수보다 낮으나 변화추이는 거의 같은 것으로 나타났다.

- 6. 7월 하순 이후의 현장데이터와 MODIS영상으로 얻어진 *NDVI_{MODIS}*와 비교하면 3차 다항식 관계로 높은 상관성을 나타냈다. MODIS영상에 의한 NDVI의 경우 실측 *NDVI_{fick}에* 비해 약 50%정도로 과소평가되는 경향을 보였다.
- 7. 저해상도의 MODIS영상을 고공간해상도로 변환하면 국지적인 식생의 특징추출도 가능하며 현지조건을 잘 표현해 주는 것이 확인되었다.

인용문헌

- 박종화. 2005. AVHRR영상과 분광반사특성을 이 용한 식생지수(NDVI)의 변동특성. 환경복 원녹화 8(2): 33-40.
- Bannari, A., D. Morin and F. Bonn. 1995. A review of vegetation indices. Remote Sensing Reviews, 13: 95-120.
- Cracknell, A. P. 1997. The advanced very high resolution radiometer(AVHRR), London: Taylor & Francis, 534.
- GSFC/NASA. 2000. Distributed active archive center GSFC, http://daac.gsfc.nasa.gov/
- Huete, A., K. Didan., T. Miura., E. P. Rodriguez., X. Gao and L. G. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, Remote Sensing of Environment, 83: 195-213.
- Jensen, J. R. 2000. Remote sensing of the environment. Prentice hall, 368-375.
- Justice, C. O., E. Vermote., J. R. G. Townshend.,
 R. Defries., D. P. Roy., D. K. Hall., V. V.
 Salomonson., J. Privette and G. Riggs. 1998.
 The moderate resolution imaging spectroradiometer
 MODIS; Land remote sensing for global change research. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 364: 1228-1249.
- Leprieur, C., Y. H. Kerr., S. Mastorchio and J. C. Meunier. 2000. Monitoring vegetation

12 박종화ㆍ나상일

cover across semi-arid regions: Comparison of remote observations from various scales. International Journal of Remote Sensing, 21: 281-300.

- Rouse, J. W., R. H. Hans., J. A. Schell., P. W. Peering and J. C. Harlar. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, Type III, Final Report, NASA/GSF, Greenbelt, MP, 371.
- Tucker, C. J. 1978. A comparison of satellite sensor bands for vegetation monitoring, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 44: 1361-1380.
- Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared

- linear combinations for monitoring vegetation, Remote Sensing Environment, 8: 127-150.
- Waltershea, E. A., and L. L. Biehl. 1990, Measuring vegetation spectral properties, Remote Sens. Rew. 5(1): 179-205.
- Pohl, C., and J. L. Van Genderen. 1998. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods, and applications, International Journal of Remote Sensing 19(5): 823-854.
- Shettigara, V. K. 1992. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 58(5): 561-567.